



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 40 496 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 B 11/24**  
G 01 B 11/30  
A 61 C 19/04

⑳ Aktenzeichen: 196 40 496.7  
㉔ Anmeldetag: 1. 10. 96  
㉕ Offenlegungstag: 2. 4. 98

DE 196 40 496 A 1

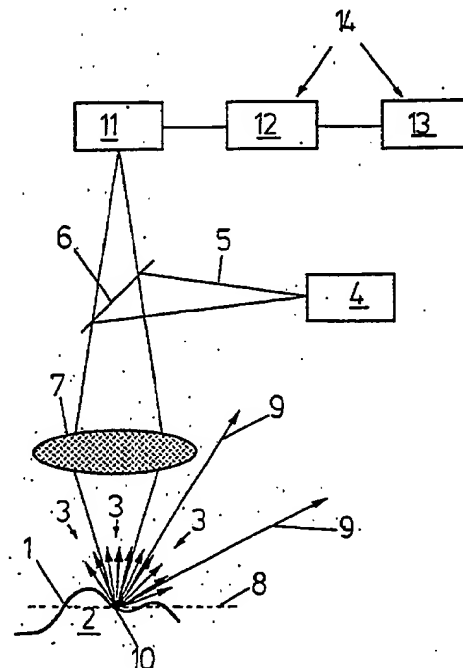
㉑ Anmelder:  
Leica Lasertechnik GmbH, 69120 Heidelberg, DE

㉒ Vertreter:  
Ullrich & Naumann, 69115 Heidelberg

㉓ Erfinder:  
Engelhardt, Johann, Dr., 76669 Bad Schönborn, DE;  
Zapf, Thomas, Dr., 67348 Speyer, DE

⑤4 Verfahren zur Oberflächenvermessung mittels Konfokalmikroskopie

⑤7 Ein Verfahren zur Oberflächenvermessung mittels Konfokalmikroskopie im Reflexionsverfahren, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils (1) von bearbeiteten beziehungsweise gebohrten Zähnen (2), ist zur Vermeidung von Meßfehlern im Bereich steiler Stellen durch eine konfokale Abbildung mit hoher Dynamik (relative Empfindlichkeit) zur Abbildung einerseits spekularer Reflexe und andererseits schwachen Streulichts (3) oder Fluoreszenzlichts der jeweiligen Brennebene (8) gekennzeichnet.



DE 196 40 496 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 98 802 014/534

6/24

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Oberflächenvermessung mittels Konfokalmikroskopie im Reflexionsverfahren, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen im unbearbeiteten und bearbeiteten beziehungsweise gebohrten Zustand.

Grundsätzlich handelt es sich hier um ein Verfahren zur Vermessung von Oberflächen jedweder Art und jedweder Kontur. Aus der Praxis sind bereits unterschiedliche Verfahren zur Oberflächenvermessung bekannt.

So läßt sich beispielsweise mittels eines Lichtschnittsensors eine Lichtlinie auf das Objekt projizieren und mit einer CCD-Kamera unter einem Winkel beobachten. Die geometrische Verformung der Lichtlinie wird dabei gemessen. Aus dieser Verformung werden die Höhendifferenzen auf dem Objekt berechnet. Durch Verschiebung des Objekts unter dem Sensor — senkrecht zur Lichtlinie — und durch wiederholte Messung eines Profils läßt sich seriell die Oberflächenform vermessen beziehungsweise bestimmen.

Zwar handelt es sich bei dem Lichtschnittsensor um einen einfach aufgebauten und dabei robusten Sensor, jedoch führt die hier erforderliche Schrägbeleuchtung zu einer einseitigen Abschattung steiler Stellen. Dadurch entstehen Asymmetrien in der Abbildung beziehungsweise Ungenauigkeiten. Des weiteren werden durch Streuung von Licht aus verschiedenen Tiefen beispielsweise eines zumindest teiltransparenten Zahnmaterials die Messungen abermals ungenau beziehungsweise verfälscht.

Des weiteren ist es aus der Praxis bereits bekannt, mittels konfokaler Mikroskopie Oberflächen zu scannen und daraus dreidimensionale Aufnahmen der Oberfläche zu generieren. Hierzu wird lediglich beispielhaft auf Johann Engelhardt und Werner Knebel in Physik in unserer Zeit, 24. Jahrg. 1993, Nr. 2 "Konfokale Laser-scanning-Mikroskopie" und D.K. Hamilton und T. Wilson in Appl. Phys. B 27, 211—213, 1982 "Three-Dimensional Surface Measurement Using the Confocal Scanning Microscope" verwiesen.

Die konfokale Mikroskopie eignet sich zur Oberflächenvermessung von Zahnoberflächen ganz besonders, da nach diesem Verfahren lediglich diejenigen Strukturen abgebildet werden, die sich unmittelbar in der Brennebene des Mikroskopobjektivs befinden. Meßfehler aufgrund des teiltransparenten Zahnmaterials sind somit wirksam vermieden. Allerdings versagt die Methode der Reflexionsmessung mit dem herkömmlichen Konfokalmikroskop bei steilen Übergängen beziehungsweise Flanken, wenn deren Winkel größer als der Aperturwinkel des Objektivs ist, da nämlich dann der Rückreflex das Objektiv nicht mehr trifft und somit für die Auswertung verloren geht (vergleiche P.C. Cheng und R.G. Summers in Confocal Microscopy Handbook, Chapter 17).

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Oberflächenvermessung anzugeben, wonach einerseits die Vermessung von Oberflächen aus teiltransparenten Materialien und andererseits von Oberflächenprofilen mit steilen Flanken problemlos möglich ist. Dieses Verfahren soll sich zur Anwendung in der Zahnheilkunde, d. h. zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen im unbehandelten und behandelten beziehungsweise gebohrten Zustand, ganz besonders eignen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Oberflächen-

vermessung löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Danach handelt es sich hier um ein Verfahren zur Oberflächenvermessung mittels Konfokalmikroskopie im Reflexionsverfahren, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils von bearbeiteten beziehungsweise gebohrten Zähnen, welches durch eine konfokale Abbildung mit hoher Dynamik (relative Empfindlichkeit) zur Abbildung einerseits spekularer Reflexe und andererseits schwachen Streulichts oder Fluoreszenzlichts der jeweiligen Brennebene gekennzeichnet ist.

Erfindungsgemäß ist hier zunächst erkannt worden, daß sich die Konfokalmikroskopie ganz besonders zur Oberflächenvermessung teiltransparenter Materialien eignet, da nämlich bei der Konfokalmikroskopie lediglich diejenigen Strukturen abgebildet werden, die sich unmittelbar in der jeweiligen Brennebene des Mikroskopobjektivs befinden. Des weiteren ist erkannt worden, daß sich der Nachteil herkömmlicher Konfokalmikroskopie im Reflexionsverfahren hinsichtlich der zuvor erörterten Aperturproblematik dadurch beheben läßt, daß man zu der üblichen Auswertung des Rückreflexes nunmehr auch eine Auswertung des Streulichts oder Fluoreszenzlichts der jeweiligen Brennebene vornimmt.

Zur Realisierung einer Auswertung des Streulichts beziehungsweise Fluoreszenzlichts erfolgt in weiter erfindungsgemäßer Weise die konfokale Abbildung mit hoher Dynamik, d. h. mit hoher relativer Empfindlichkeit, so daß einerseits eine Abbildung stark reflektierter flacher Flächen und andererseits eine Darstellung des Streulichts oder Fluoreszenzlichts an beispielsweise steilen Flanken möglich ist. Folglich ist nach dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Abbildung auch dann möglich, wenn das an steilen Stellen reflektierte Licht am Objektiv vorbei reflektiert wird, so daß — im üblichen Reflexionsverfahren — keine Profilometrie betrieben werden kann. Letztendlich wird das Streulicht zur Auswertung stets dann hinzugezogen, wenn eine Abbildung mangels spekularer Reflexe nach herkömmlicher Konfokalmikroskopie nicht mehr möglich ist.

Wie bereits zuvor erwähnt, erfolgt die Digitalisierung der Detektionssignale mit hoher Auflösung, und zwar in ganz besonders vorteilhafter Weise mit einer Dynamik wesentlich größer als 8 bit. Zur ganz besonders wirksamen Nutzung des schwachen Streulichts beziehungsweise Fluoreszenzlichts im Bereich steiler Stellen der Oberfläche kann die relative Empfindlichkeit beziehungsweise Dynamik der konfokalen Abbildung bei 16 bit liegen. Letztendlich läßt sich hierdurch ein großer Helligkeitsunterschied durch Streulichtauswertung im Bereich steiler Flanken erzeugen.

Zur Höhenauswertung beziehungsweise zur Erzeugung des Oberflächenprofils anhand des schwachen Streulichts ist ein Algorithmus vorgesehen, der die hohe Dynamik des Systems berücksichtigt beziehungsweise toleriert. Dieser Algorithmus berücksichtigt in ganz besonders vorteilhafter Weise interpolierend nächste beziehungsweise unmittelbare Nachbarebenen, wobei höhere Intensitäten in einem lokalen Bereich relativ übergewichtet werden, um nämlich die Signaluntergrundabhängigkeiten zu reduzieren. Letztendlich ist ein geeigneter Algorithmus vorgesehen, der nach Detektion der Streulichtsignale sowie nach Digitalisierung mit hoher Auflösung eine adäquate Höhenauswertung der digitalisierten Signale vornimmt.

An dieser Stelle sei hervorgehoben, daß das Scannen der Oberfläche auch in Dunkelfeldanordnung erfolgen kann. Als Lichtquelle könnte entweder eine Punktlicht-

quelle oder eine Lichtquelle mit entsprechender Ausblendung vorgesehen sein.

Im Rahmen einer Anwendung in der Zahnheilkunde, insbesondere zur Herstellung paßgenauer Inlays anstelle herkömmlicher Amalgamfüllungen, ist es von ganz besonderem Vorteil, wenn zunächst die Oberfläche des unbearbeiteten Zahnes abgescannet und die detektierten Werte — vorzugsweise digitalisiert und bereits zum Höhenprofil umgerechnet — gespeichert werden. In einem nächsten Schritt wird der Zahn bearbeitet beziehungsweise gebohrt. Danach erfolgt ein abermaliges Scannen des nunmehr bearbeiteten beziehungsweise gebohrten Zahnes sowie ebenfalls ein Abspeichern der das Oberflächenprofil des bearbeiteten Zahnes ergebenden Werte. Aus der sich ergebenden Differenz beider Oberflächenprofile beziehungsweise der die Oberflächenprofile aufspannenden Werte ergibt sich die Oberfläche beziehungsweise ergeben sich die genauen Maße des benötigten Inlays für eine optimale Okklusion des behandelten Zahnes.

Hinsichtlich einer besonders hohen Präzision bei der Bearbeitung des Inlays ist es von ganz besonderem Vorteil, wenn das zu fertigende Inlay nach einer ersten Bearbeitung gescannt wird und wenn die weitere Bearbeitung unter Hinzuziehung der anhand eines Soll/Ist-Vergleichs gewonnenen Korrekturwerte erfolgt. Insoweit ist eine Korrektur zur Verifizierung der Inlayform möglich, so daß bei Wiederholung dieses Vorgangs eine hohe Präzision der Fertigung des Inlays und somit eine optimale Okklusion möglich ist. Durch die voranstehende Maßnahme lassen sich obendrein geräte- beziehungsweise werkzeugbedingte Ungenauigkeiten, beispielsweise aufgrund von Abnutzungserscheinungen am Werkzeug berücksichtigen, so daß auch bei einer Dynamik in der Bearbeitungsstation eine optimale Anpassung des Inlays und somit eine optimale Okklusion möglich ist.

Des weiteren ist es möglich, daß — in einem weiteren Schritt — die im Zahn angelegte Bohrung mit einer plastischen Masse gefüllt wird, wobei durch Draufbeißen des Patienten die Berührungspunkte mit den gegenüberliegenden Zähnen in der plastischen Masse markiert werden. Das sich dabei ergebende Oberflächenprofil wird anschließend abgescannet, die erhaltenen Meßwerte betreffend das Oberflächenprofil werden gespeichert und bei der Berechnung der Oberfläche beziehungsweise der Maße des zu bearbeitenden Inlays berücksichtigt.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Ansprüche, andererseits auf die nachfolgende Erläuterung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung des bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 2 in schematischer Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens in Dunkelfeldanordnung.

Die Figuren zeigen in schematischer Darstellung das Prinzip eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Oberflächenvermessung mittels

Konfokalmikroskopie, wobei hier im konkreten das Oberflächenprofil 1 eines schematisch angedeuteten Zahnes 2 vermessen wird.

Erfindungsgemäß ist eine konfokale Abbildung mit hoher Dynamik, d. h. mit hoher relativer Empfindlichkeit zur Abbildung einerseits spekularer Reflexe und andererseits schwachen Streulichts 3 der jeweiligen Brennebene vorgesehen. Die Digitalisierung der Detektionssignale erfolgt mit hoher Auflösung bei einer Dynamik größer als 8 bit.

Gemäß der Darstellung in Fig. 1 trifft das von einer Lichtquelle 4 ausgesandte Licht beziehungsweise der Lichtstrahl 5 auf einen Strahlteiler 6 und wird von dort durch ein Objektiv 7 auf die Oberfläche beziehungsweise das Oberflächenprofil 1 des Zahnes 2 gerichtet. Bei der hier gewählten Darstellung liegt die Brennebene 8 an einer derart steilen Flanke, daß das gerichtete Reflexionslicht 9 das Objektiv 7 nicht mehr trifft.

Dies ist darauf zurückzuführen, daß der hier vorliegende Winkel der Flanken größer ist als der Aperturwinkel des Objektivs 7.

Fig. 1 läßt des weiteren erkennen, daß von dem Brennpunkt 10 aus ungerichtetes diffuses Streulicht 3 zum Objektiv 7 beziehungsweise durch das Objektiv 7 hindurch, durch den Strahlteiler 6 hindurch zum Detektor 11 gelangt. Der Einfachheit halber ist auf die Darstellung etwa vorgeschalteter Bauteile wie Pinholes beziehungsweise Blenden oder dergleichen verzichtet worden. Jedenfalls werden die vom Detektor 11 erfaßten Meßwerte mit hoher Auflösung digitalisiert und anschließend einer Höhenauswertung zur Gewinnung des Oberflächenprofils 1 zugeführt. Die Digitalisierung sowie Höhenauswertung kann in unabhängigen Funktionsgruppen 12, 13 beziehungsweise in einem Computer 14 erfolgen.

Im Gegensatz zu der in Fig. 1 gewählten Darstellung handelt es sich bei dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel um die Anwendung der Konfokalmikroskopie bei Dunkelfeldanordnung. Von der Punktlichtquelle 15 gelangt der Lichtstrahl 16 über einen Reflektor 17 durch das Objektiv 7 hindurch auf die Oberfläche des Zahns 2, wobei der Lichtstrahl 16 auf eine derart geneigte Fläche trifft, daß der Reflexionsstrahl 18 nicht wieder das Objektiv 7 trifft. Ansonsten wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf die Fig. 1 betreffende Beschreibung verwiesen.

Schließlich sei darauf hingewiesen, daß für das erfindungsgemäße Verfahren die Nutzung schwachen Streulichts oder Fluoreszenzlichts zur konfokalen Abbildung erforderlich ist. Dazu ist eine hohe Empfindlichkeit beziehungsweise Dynamik zur Auswertung des Streulichts und somit zur Profilometrie zumindest unter Hinzuziehung des Streulichts bei steilen Flanken möglich.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Oberflächenvermessung mittels Konfokalmikroskopie im Reflexionsverfahren, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils (1) von Zähnen (2), gekennzeichnet durch eine konfokale Abbildung mit hoher Dynamik (relative Empfindlichkeit) zur Abbildung einerseits spekularer Reflexe und andererseits schwachen Streulichts (3) oder Fluoreszenzlichts der jeweiligen Brennebene (8).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Digitalisierung der Detektionssignale mit hoher Auflösung bei einer Dynamik we-

sentlich größer als 8 bit (1 : 256) erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dynamik bei 16 bit liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhenauswertung mittels eines die hohe Dynamik berücksichtigenden Algorithmus erfolgt. 5

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Algorithmus interpolierend nächste beziehungsweise unmittelbare Nachbarebenen berücksichtigt. 10

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Algorithmus höhere Intensitäten in einem lokalen Bereich relativ übergewichtet.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, 15 dadurch gekennzeichnet, daß das Scannen der Oberfläche in Dunkelfeldanordnung erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Lichtquelle eine Punktlichtquelle (15) oder eine Lichtquelle mit entsprechender Ausblendung vorgesehen ist. 20

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Anwendung in der Zahnheilkunde, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst die Oberfläche des unbearbeiteten Zahnes und danach die Oberfläche 25 des bearbeiteten beziehungsweise gebohrten Zahnes abgescannt und jeweils gespeichert wird und daß aus der sich ergebenden Differenz die Oberfläche beziehungsweise die genauen Maße des benötigten Inlays berechnet werden. 30

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß in einem weiteren Schritt die Bohrung im Zahn mit einer plastischen Masse gefüllt wird, wobei durch Draufbeißen die Berührungspunkte mit den gegenüberliegenden Zähnen (2) 35 markiert werden, und daß das sich dabei ergebende Oberflächenprofil (1) abgescannt, abgespeichert und bei der Berechnung der Oberfläche beziehungsweise Maße des Inlays berücksichtigt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch 40 gekennzeichnet, daß das zu fertigende Inlay nach einer ersten Bearbeitung gescannt wird und daß die weitere Bearbeitung unter Hinzuziehung der anhand eines Soll/Ist-Vergleichs gewonnenen Korrekturwerte erfolgt. 45

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65

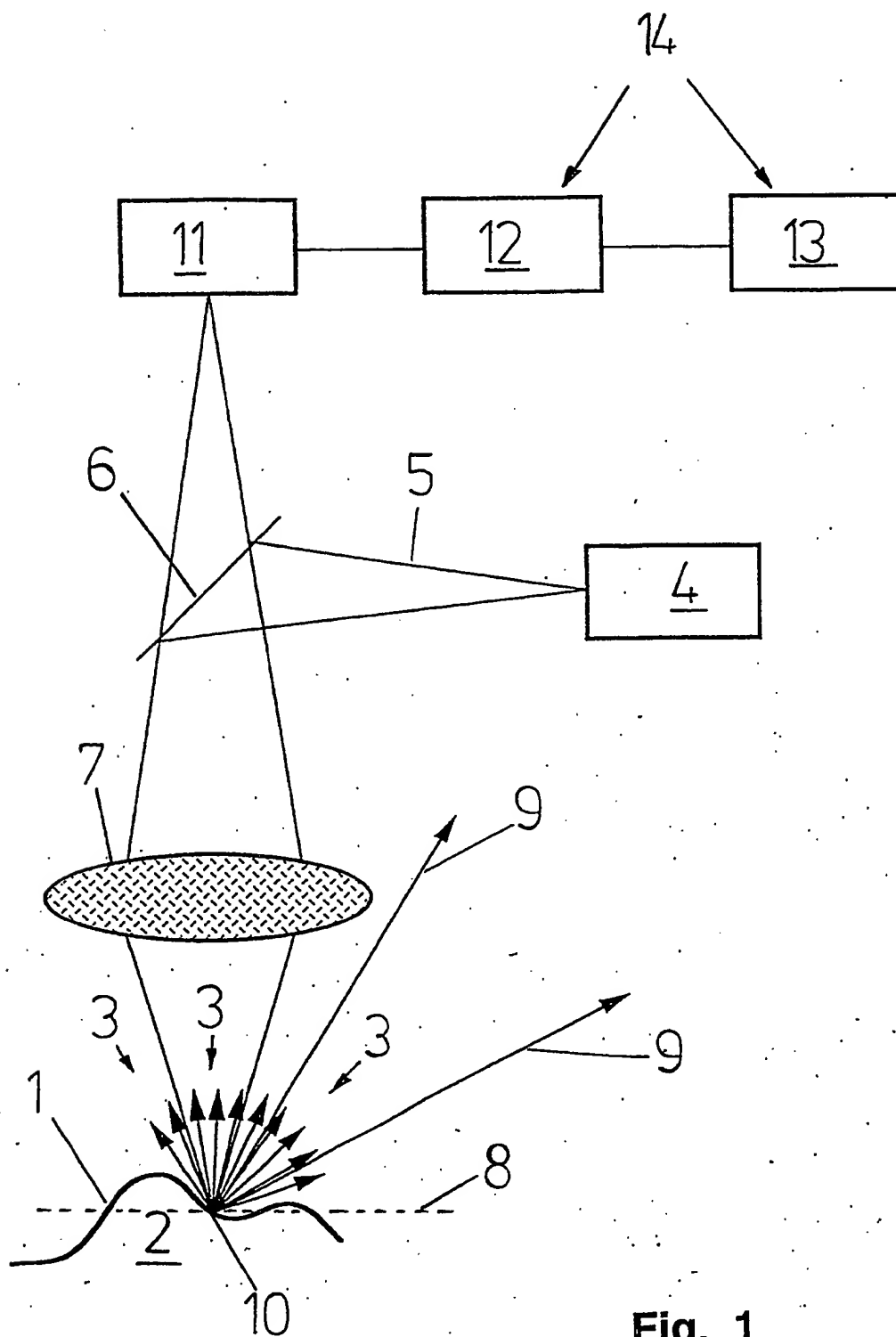


Fig. 1

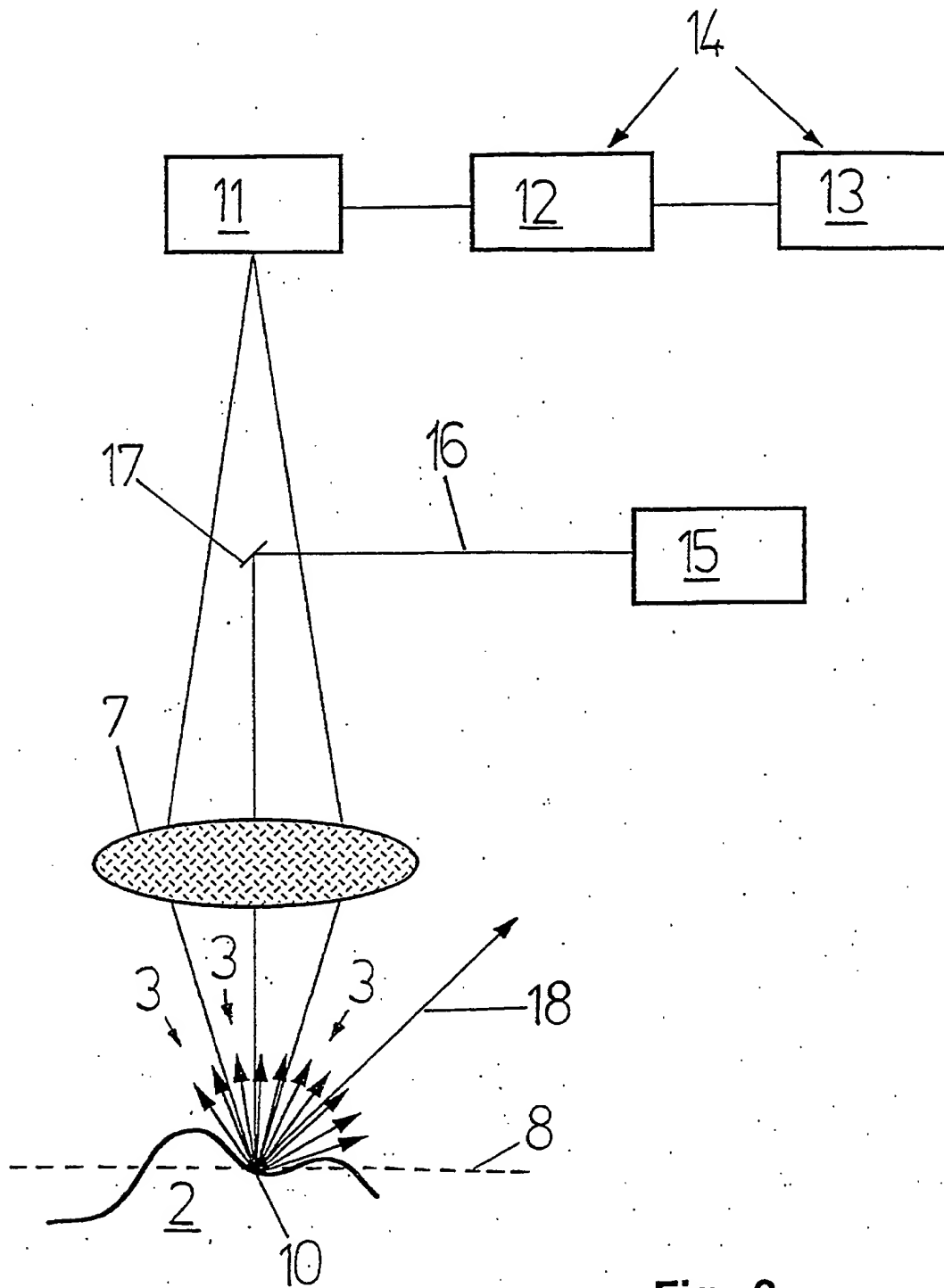


Fig. 2

DAVIDSON, DAVIDSON & KAPPEL, LLC

May 11, 2004

Page 2